干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

1981—2018年庆阳市气候舒适度特征分析及评价

张可心[1,2]

（1 甘肃省庆阳市气象局，甘肃 西峰 745000；2 中国气象局兰州干旱气象研究所/甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室，甘肃 兰州 730020）

摘 要：为了对庆阳市气候资源特征进行分析和评价，指导当地城乡规划建设及旅游业的发展，利用庆阳市1981—2018年8个气象观测站逐日气温、降水、风速、相对湿度、日照时数等资料，计算当地气候舒适度的4种参数，分析庆阳市气候舒适度时空变化特征，结果表明：庆阳市春季、秋季偏冷，夏无酷暑，温暖舒适，冬季寒冷，较不舒适；温湿指数、风效指数、穿衣指数年际变化特征显示，四季气候均有向暖发展的趋势，春季和夏季变化趋势极显著，秋季和冬季变化显著性较弱；综合指数年际波动大，夏季气候趋于不舒适，其余季节均趋于舒适；气候舒适期年内分布特征显示，5～9月为全市气候舒适期，适合开展旅游活动；5月和9月舒适度空间分布的总体特征是西部高，东部低，6～8月均为东南部高，西部、北部低；舒适度月变化总体特征为，5月＞6月＞9月＞8月＞7月。

关 键 词：气候舒适度；GIS；空间分析；评价；庆阳市

文章编号：

21世纪以来极端气候事件频发，IPCC第五次评估报告指出，1951—2012年地球平均气温升高了约0.72 ℃，在过去的30 a中是近1 400 a来北半球最温暖的30 a[1]。全球气候条件发生变化的同时，气候变化的区域响应越发显著，并对生态环境带来一定影响[2-3]。气候条件的变化直接影响人类生产生活，而随着经济的发展和人民生活水平的提高，人类对居住环境的舒适程度也有了更高的要求，气候发展及变化趋势对人体舒适度产生的影响成为迫切需要了解的问题，因此学者们提出了气候舒适度的概念，并展开了此方面的研究。

气候舒适度是指大多数人对周围空气环境感觉舒服的程度，是从气象角度评价人在不同环境气候下舒适状况的一项生物指标[4]。国外对此的研究始于20世纪，已有近百年历史，且得出很多评价模型[5]。1966年TERJUNG W H就提出了气候舒适性指数的概念，并得出了舒适度指数和风效指数[6]，1973年OLIVER建立了风寒指数向量表[7]。国内对此的研究起步较晚，但近年来发展较快[8-10]，王学林等[11]采用人体舒适度指数I_{CHB}系统分析了江南地区全年及各个季节人体舒适度的时空变化及突变特征。房小怡等[12]对近30 a北京城郊气候舒适度进行了分析，揭示了气候变化和城市化影响下北京气候舒适度的变化特征。闫业超等[13]总结了气候舒适度研究的发展历程，评价了各种研究的优点与局限性，并展望了未来的研究方向。随着旅游业的蓬勃发展，气候舒适度也成为评价区域旅游资源的重要指标之一[14-16]。目前东部及西南地区对气候舒适度的研究较多，也较为深入，而西北地区相关研究较少，且对庆阳市的气候舒适度精细化分析还有一定的探讨空间。本文利用1981—2018年的气候资料，对庆阳市气候舒适度进行精细化分析，评估庆阳市气候舒适度变化的时间与空间特征，以期为庆阳市应对气候变化、城市发展规划、生态文明建设及旅游业的发展提供参考依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

庆阳市位于甘肃省东部，地理坐标为106°20′～

收稿日期：2019-10-09； **修订日期：**2020-01-24
基金项目：中国气象局兰州干旱气象研究所项目（IAM201811）；庆阳市气象局项目（QY2019-13）共同资助
作者简介：张可心（1995-），女，甘肃庆阳人，主要从事天气预报及气候变化研究. E-mail: 337914611@qq.com

108°45′ E，35°15′～37°10′ N之间，地处黄土高原沟壑地区，属于大陆性气候，北邻宁夏，东接陕西，南北气候差异较大，降水量南多北少，年降水在382.9～602.0 mm，年平均气温为9.5～10.7 ℃[17]。辖环县、华池、庆城、镇原、合水、宁县、正宁7县和西峰1区。近年来，随着经济发展，庆阳市城乡规划建设、生态环境规划逐步开展，“一带一路”的提出也为庆阳的经济发展提供了新的机遇，在以传统农业作为主要经济产业的基础上开始大力发展旅游产业，旅游资源丰富，但旅游产业发展较迟缓是庆阳市面临的主要问题。

庆阳是原陕甘宁边区的重要组成部分，被誉为“永远的红区”，是“黄河古象”和“环江翼龙”的故乡，也是中医药文化的发源地，中医鼻祖岐伯诞生于此，《黄帝内经》也于此地问世。秦直道、南佐遗址、北石窟寺等均为全国重点文物保护单位，有周祖陵森林公园、南梁纪念馆等国家4A级景区，“农耕文化”与“红色文化”是庆阳文化旅游发展的特色。气候不仅是支撑旅游活动的外部条件，也是一种重要的旅游吸引物[18]，因此，分析庆阳气候舒适度具有现实需求。

1.2 资料与方法

影响气候舒适度的主要气象因子有气温、降水、相对湿度、风速等[19]。本文利用庆阳市8个国家气象观测站1981—2018年的逐日站点资料，对气温、降水、相对湿度、风速等要素进行统计分析，计算得到月平均气温、降水、相对湿度、风速等资料，对于缺测数据用插值法进行处理。使用MATLAB计算温湿指数、风效指数、穿衣指数和综合指数，使用ArcGIS空间分析功能，将气候舒适度评价指数进行差值计算，对庆阳市气候舒适度进行定量化分析，得出该地区气候舒适度时空变化特征。

计算公式如下：

1.2.1 温湿指数 温湿指数主要反映了人体对于温度、湿度的感受，计算公式：

$$THI=(1.8\times T+32)-0.55\times(1-f)\times(1.8\times T-26) \quad (1)$$

式中：THI为温湿指数，T为气温（单位：℃），f为相对湿度（单位：%）。

1.2.2 风效指数 风速能影响人体与外界环境的热量交换，风效指数考虑了气温、风速以及日照对人体温感的影响[20]，计算公式：

$$K=-(10.9\sqrt{V}+10.45-V)(33-T)+8.55S \quad (2)$$

式中：K为风效指数，T为气温（单位：℃），V为风速，S为日照时数（单位：h）。

1.2.3 穿衣指数 穿衣指数是指人体通过穿衣来改变气候的不舒适性[21]，计算公式：

$$ICL=\frac{33-T}{0.155\times H}-\frac{H+aR\cos\partial}{(0.62+19\sqrt{V})\times H} \quad (3)$$

式中：ICL为穿衣指数，T为气温（单位：℃），H为人体代谢率的75%（$W\cdot m^{-2}$），取轻活动下代谢率，H=87 $W\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$；$a$为人体对于太阳辐射的吸收情况，取0.06；$R$为垂直阳光的单位面积土地所接受的太阳辐射（单位：$W\cdot m^{-2}$）；$\alpha$为太阳高度角，取平均状况，纬度为$\beta$，夏季太阳高度角为：$90°-\beta+23°26'$，冬季太阳高度角为：$90°-\beta-23°26'$，春秋两季太阳高度角为$90°-\beta$；$V$为风速（单位$m\cdot s^{-1}$）。

1.2.4 综合舒适度指数 综合舒适度指数是以上3种指数（温湿指数、风效指数、穿衣指数）为基础，采用专家打分法与层次分析法确定各个指数的权重，建立气候舒适度的综合评价模型[22]，计算公式：

$$C=0.6THI+0.3K+0.1ICL \quad (4)$$

式中：THI为温湿指数，K为风效指数，ICL为穿衣指数，加权系数分别为0.6、0.3、0.1；C为综合评价气候舒适性，对各指数进行量化赋值（表1、表2），并对各指数所表示的气候舒适性进行划分，将舒适、较舒适均划分为舒适期，即温湿指数的舒适期值为$56\leq THI\leq70$，风效指数舒适期为$-599\leq K\leq-58$，穿衣指数舒适期为$0.5\leq ICL\leq1.4$，综合指数为$C\geq3$。

1.3 季节划分

本文的季节划分采取：3～5月为春季，6～8月为夏季，9～11月为秋季，12月～翌年2月为冬季。

2 结果分析

2.1 气候舒适度时间变化

2.1.1 温湿指数 分析庆阳市1981—2018年春、夏、秋、冬的温湿指数变化（图1）可知，春季温湿指数$50\leq THI\leq56$，97%的年份人体感觉为偏冷，较不舒适，温湿指数年际波动小；夏季为$66\leq THI\leq70$，人体感觉为暖，舒适；秋季$47\leq THI\leq55$，人体感觉为偏冷，较不舒适；冬季$30\leq THI\leq38$，人体感觉为极冷，极不舒适，且年际变化大；四季的温湿指数变化均呈缓慢上升趋势，其中春季和夏季的线性倾向率分别为$1.08\cdot(10\ a)^{-1}$、$0.52\cdot(10\ a)^{-1}$，上升趋势均通过了0.001的极显著性检验，秋季的增加率为$0.435\cdot(10\ a)^{-1}$，通

表1　温湿指数、风效指数、穿衣指数分级

Tab. 1　Classification of temperature-humidity index, wind chill index and dressing index

温湿指数/*THI*		风效指数/*K*		穿衣指数/*ICL*	
分级值	人体感觉	分级值	人体感觉	分级值	适宜衣着
< 40	极冷,极不舒适	< -1000	很冷	> 2.5	羽绒服
40 ~ 45	寒冷,不舒适	-1000 ~ -800	冷	1.8 ~ 2.5	便服加坚实外套
46 ~ 55	偏冷,较不舒适	-799 ~ -600	稍冷	1.5 ~ 1.7	冬季常用服装
56 ~ 60	清凉,舒适	-599 ~ -300	凉	1.3 ~ 1.4	春秋常用便服
61 ~ 65	凉,非常舒适	-299 ~ -200	舒适	0.7 ~ 1.2	衬衫和常用便服
66 ~ 70	暖,舒适	-199 ~ -58	暖	0.5 ~ 0.6	轻便的夏装
71 ~ 75	偏热,较不舒适	-57 ~ 80	暖热	0.3 ~ 0.4	短袖开领衫
76 ~ 80	闷热,不舒适	80 ~ 159	皮感热	0.1 ~ 0.2	热带单衣
> 80	极闷热,极不舒适	≥160	皮感不适	< 0.1	超短裙

表2　综合舒适度判断指数

Tab. 2　Classification of composite index

综合舒适度/*C*	*C*≥6	3 ~ 6	0 ~ 3	*C*≤0
人体舒适度	舒适	较舒适	较不舒适	不舒适

过了0.05的显著性检验,冬季增加率最小;由上述分析可知,随着时间的递增,春季、秋季、冬季趋于更加舒适,夏季趋于偏热,不舒适。

2.1.2　风效指数　分析庆阳市1981—2018年春、夏、秋、冬的风效指数变化(图2)可知,全年风效指数的舒适度均较高。春季风效指数-496≤*K*≤-381,体感凉;夏季-244≤*K*≤-171,体感为舒适或暖的年份各占比50%,2016年为最大值(-171,暖);秋季-504≤*K*≤-396,体感凉;冬季-776≤*K*≤-646,体感稍冷,最小值出现在1982年(-776,稍冷)。四季风效指数年际变化均有增加趋势,春、夏增加趋势极显著,秋季次之,冬季风效指数的变化可分为两个阶段:1985—2004年间为波动上升趋势,2005年往后为波动下降趋势;上述分析表明庆阳市全年大部

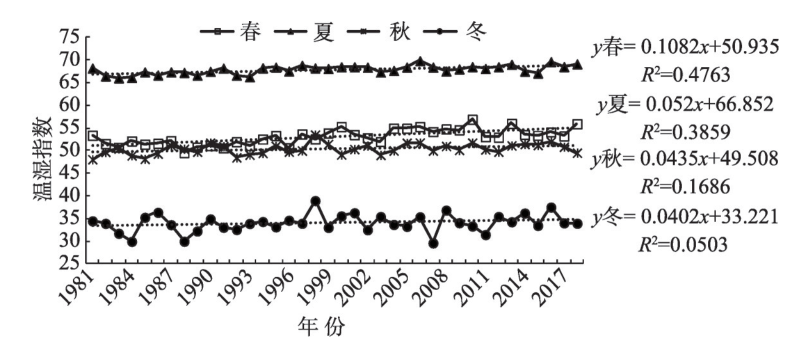


图1　1981—2018年庆阳市温湿指数(*THI*)年变化趋势

Fig. 1　Annual change trend of temperature-humidity index (*THI*) in Qingyang city from 1981 to 2018

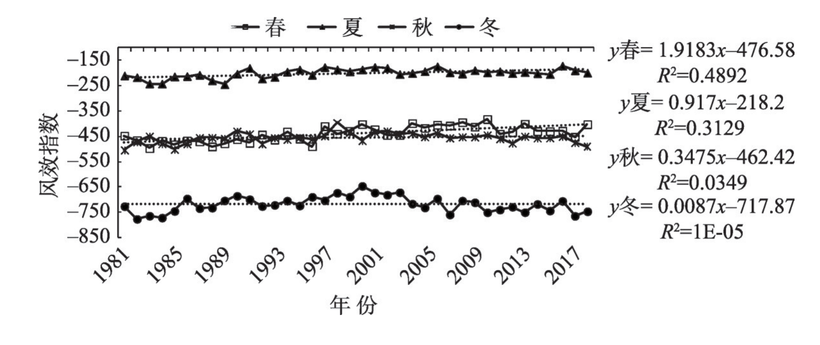


图2　1981—2018年庆阳市风效指数(*K*)年变化趋势

Fig. 2　Annual change trend of wind chill index (*K*) in Qingyang city from 1981 to 2018

分时间体感凉风，风效指数的舒适度在春秋两季体感趋于舒适，夏季体感趋于暖热。

2.1.3 穿衣指数 分析庆阳市1981—2018年春、夏、秋、冬的穿衣指数变化(图3)可知，除夏季外，其余季节穿衣指数均较高，表明庆阳市气候偏凉。春秋两季穿衣指数分别为1.5～1.8、1.6～1.9，适宜穿着均为冬季常用服装及更厚的服装，可见春秋两季较冷；夏季0.8～1.0，适宜穿着衬衫和常用便服，即夏季气候凉爽，穿着轻便适宜。冬季2.4%～27.24%的年份适宜衣着为便服加坚实外套，其余年份均为羽绒服。四季的穿衣指数一致呈减小的趋势，减小率最大的是春季[$-0.048\cdot(10\ a)^{-1}$]，且春季和夏季减小趋势极显著(通过0.001的极显著性检验)，秋季次之，冬季年际波动较大，显著性弱，表示随着时间递增，庆阳市春、夏、秋穿衣明显趋于薄。

2.1.4 综合舒适度指数 分析庆阳市气候舒适度综合指数变化(图4)结果显示，春季和秋季综合指数分别为$3.7\leq Z\leq 5.9$、$3.3\leq Z\leq 5.3$，均为较舒适；夏季$6.3\leq Z\leq 8.3$，体感舒适，综合指数波动大，其中1983、1984、1989、1992年$Z\geq 8$，可见夏季舒适度最高的年份均在21世纪以前；冬季$-1.3\leq Z\leq 0.2$，除1998年(Z=0.2，较不舒适)以外，其余年份$Z\leq 0$，为不舒适；综合指数夏季呈下降趋势，其余季节均为增长趋势，春季增长率最大，为$0.34\cdot(10\ a)^{-1}$，且春季的增长趋势与夏季的减小趋势均通过了极显著性检验，表示庆阳市春季气候趋于更加舒适，夏季气候趋于较不舒适。

2.2 气候舒适度空间分布

2.2.1 舒适期空间分布 计算8个站点温湿指数、风效指数、穿衣指数和综合指数的月平均值，分析其月变化特征，表3为4种指数所表征的舒适月份及指数值，结果如下：

(1) 庆阳市温湿指数较舒适期为5～9月，环县舒适期较长，4月份也较舒适，温湿指数的最大值出现在7月份的庆城县(*THI*=71，偏热)，除庆城、镇原以外，其余县区月平均温湿指数均未超70，可见庆阳夏无闷热，温湿体感偏凉爽。

(2) 风效指数舒适期较长，北部环县、华池为3～10月，中南部庆城、合水、宁县、镇原为3～11月，长达9个月，西峰和正宁因气温偏低，舒适期略短，为4～10月，7月全市$-58\leq K\leq -199$，体感为暖，最大值-157出现在庆城和镇原，即在最暖月庆阳市也未

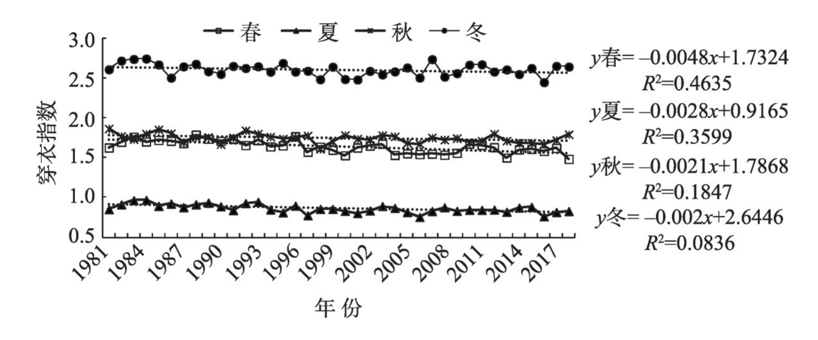


图3 1981—2018年庆阳市穿衣指数(ICL)年变化趋势

Fig. 3 Annual change trend of dressing index (ICL) in Qingyang city from 1981 to 2018

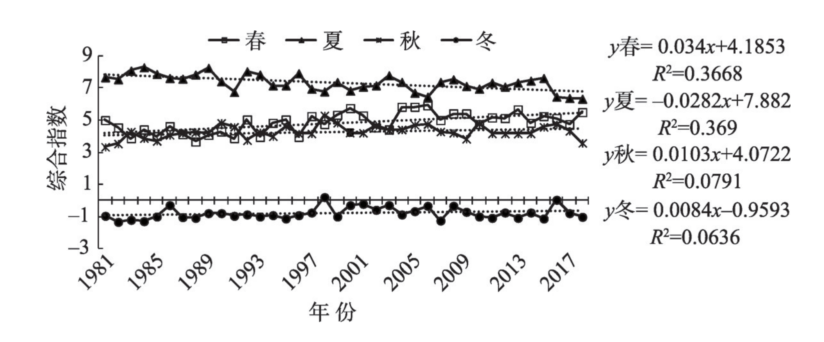


图4 1981—2018年庆阳市综合指数(Z)年变化趋势

Fig. 4 Annual change trend of composite index (Z) in Qingyang city from 1981 to 2018

表3 温湿指数、风效指数、穿衣指数、综合指数较舒适及以上月份统计

Tab. 3 Statistics on temperature-humidity index, wind chill index, dressing index and comprehensive index for more comfortable months

	温湿指数		风效指数		穿衣指数		综合指数	
	月份	指数	月份	指数	月份	指数	月份	指数
西峰	5～9	59～69	4～10	-481～-202	5～9	0.8～1.3	4～10	7.2～8.1
环县	4～9	57～70	3～10	-584～-162	5～9	0.7～1.3	4～10	6.6～8.0
华池	5～9	59～70	3～10	-583～-169	5～9	0.8～1.3	4～10	6.6～7.9
庆城	5～9	61～71	3～11	-597～-157	5～9	0.7～1.2	4～10	6.2～8.1
镇原	5～9	61～71	3～11	-550～-157	5～9	0.7～1.2	4～10	6.2～8.3
合水	5～9	60～69	3～11	-586～-183	5～9	0.8～1.3	4～10	6.7～7.7
宁县	5～9	60～70	3～11	-582～-168	5～9	0.8～1.2	4～10	6.4～7.8
正宁	5～9	59～68	4～10	-465～-207	5～9	0.9～1.3	4～10	7.2～8.1

有皮感热或者不适的感觉，其余月份全市风效指数基本为-599～-200之间，体感为凉或舒适。

（3）穿衣指数舒适期较一致，全市均为5～9月，时长5个月，此时穿衣指数阈值为0.7～1.3，适宜穿春秋常用便服、衬衫和便服或轻便的夏装；12～2月穿衣指数均大于2.5，温度低需要穿较厚冬衣；穿衣指数的最大值和最小值均出现在北部的环县，可见环县的季节性跨度最大，应及时增减衣物。

（4）全市综合指数舒适期均为4～10月，其中4月和10月，$3\leq Z\leq 6$，为较舒适期，5～9月，$Z\geq 6$，为舒适期，5～6月综合指数均超过了7.7，是全市舒适度最高的时段。

由上述可知，庆阳市全年舒适期长达7个月，其中较舒适期为2个月，舒适期为5个月。5～9月为庆阳市气候舒适期，气候宜人，适宜旅游等活动的开展。

2.2.2 舒适度空间分布 由图5可得，5月为庆阳市一年中最舒适的月份，气候舒适度综合指数为7.4～8.3，全市舒适度的总体特征是西部高，东部低，西南部的镇原Z指数高达8.3，是最舒适的县，其次是庆

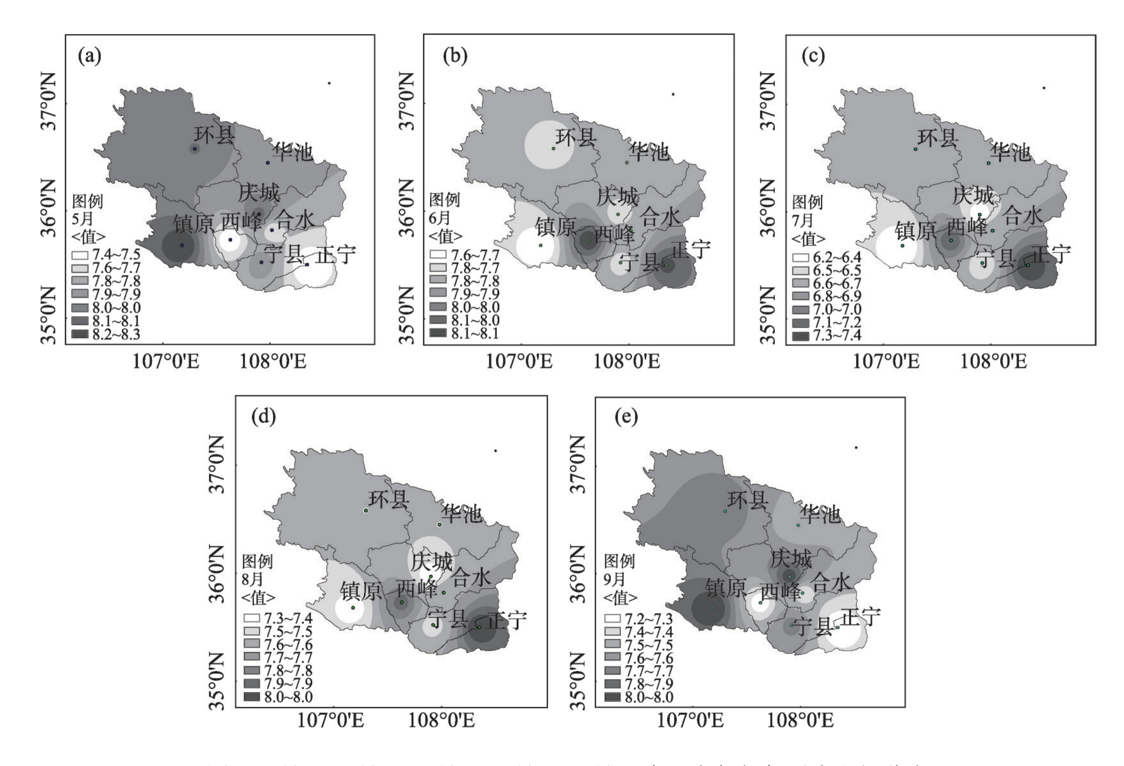


图5 5月(a)、6月(b)、7月(c)、8月(d)、9月(e)庆阳市气候舒适度空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of climate comfort in Qingyang City in May (a), June (b), July (c), August (d), and September (e)

城和环县，正宁和西峰的舒适度相对最低。6～8月全市气候舒适度分布特征相近，均为东南部高，西部、北部低，其中6月舒适度由西向东的过渡带较长，7、8月过渡带较短，表明7、8月全市东西差异相对较大，主要是受夏季强降水及温度空间分布不均的影响；6～8月综合指数均为舒适，西峰、正宁为舒适度最高的县区，6月综合指数为7.6～8.1，总体舒适度仅次于5月。9月全市气候舒适度空间分布为西部高，东部低，$7.2 \leq Z \leq 8.0$。舒适度的月变化总体特征为，舒适度：5月>6月>9月>8月>7月，空间分布特征为5月、9月西部高，东部低，6～8月西部北部低，东南部高。

3 结 论

通过计算1981—2018年庆阳市温湿指数、风效指数、穿衣指数和综合舒适指数，并利用GIS技术，得出庆阳市气候舒适期逐月栅格图，根据各个指数的分级赋值，研究了庆阳市气候舒适度分布情况，对庆阳市的舒适指数作了较为全面的分析，其结论如下：

（1）庆阳市四季的温湿指数、风效指数、穿衣指数分析显示：春季、秋季偏冷，体感凉风，适宜穿着冬季常用便服；夏季暖，舒适，适宜穿着衬衫及常用便服；冬季极冷，不舒适，适宜穿着羽绒服及厚外套。温湿指数和风效指数随时间变化呈增大趋势，穿衣指数为减小趋势；3种指数春季和夏季变化趋势显著，均通过了0.001的极显著性检验，秋季次之，冬季变化不显著。

（2）综合指数分析显示：春季、秋季较舒适，夏季舒适，冬季不舒适；随时间递增，夏季舒适度呈下降趋势，其余季节均为增大趋势；春季的增大趋势与夏季的减小趋势均通过了极显著性检验；庆阳市四季气候均向暖发展，春季、秋季、冬季气候趋于更加舒适，夏季气候趋于较不舒适。这与王晓冬，延军平[23]研究得出的陕甘宁老区日渐变暖，且20世90年代之后变暖加剧结论一致。

（3）气候舒适期空间分布表明，温湿指数较舒适期为5～9月；风效指数舒适期较长，北部环县、华池为3～10月，中南部3～11月，东南部西峰和正宁为4～10月；穿衣指数舒适期为5～9月；综合指数舒适期为4～10月，其中5～9月为舒适。

（4）5月为全市气候最舒适的月份；5月和9月舒适度空间分布特征是西部高，东部低，西南部镇原气候最舒适；夏季6～8月为东南部高，西部、北部低，西峰、正宁最舒适，7～8月舒适度东西部差异最大；舒适度总体特征为，5月>6月>9月>8月>7月。

（5）庆阳市冬季3个月较为寒冷，气候不舒适；夏季无“偏热不适”、“闷热不适”，体感温暖，非常舒适；春末、秋初（5月、9月）气候凉爽；因此，春末、夏、秋初气候宜人，为旅游舒适期，适宜开展旅游活动。

（6）气候作为一个重要因子，影响局地旅游产业和人类活动。对庆阳市气候舒适度变化趋势及分布特征进行分析，将为庆阳市旅游资源开发及人们生活和生产活动的开展提供科学参考依据。本文运用的评价模型与朱涯等[24]的分析相比，增加了日照时数的影响，然而气候舒适度也受气压，海拔高度等因素的影响，因此该评价方法也存在一定的局限性，有待进一步研究。

参考文献(References)

[1] IPCC. A report of working Group Ⅱ of the Intergovermental panel on Climate Change[R]. Geneva Switzerland: Climate change 2001: Impact adaption and vulnerablity summary for policymakers, 2001.

[2] 姚玉璧, 肖国举, 王润元, 等. 近50 a来西北半干旱区气候变化特征[J]. 干旱区地理, 2009, 32(2): 159-165. [YAO Yubi, XIAO Guoju, WANG Runyuan, et al. Climate changes of semi-aird region over the northwest China in resent 50 a[J]. Arid Land Geography, 2009, 32(2): 159-165.]

[3] 徐贵青, 魏文寿. 新疆气候变化及其对生态环境的影响[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 14-18. [XU Guiqing, WEI Wenshou. Climate change of Xinjiang and its impact on Eco-Enviroment[J]. Arid Land Geography, 2004, 27(1): 14-18.]

[4] 刘梅, 于波, 姚克敏. 人体舒适度研究现状及其开发应用前景[J]. 气象科技, 2002, 30(1): 11-14. [LIU Mei, YU Bo, YAO Kemin. Research status of human comfort and its development and application prospect[J]. Meteorological Science and Technology, 2002, 30(1): 11-14.]

[5] HILL L, GRIFFITH O W, FLACK M. The Measurement of the Rate of Heat-Loss at Body Temperature by Convection, Radiation, and Evaporation[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 1916, 207(335-347): 183-220.

[6] TERJUNG W H. Physiologic climates of the contentious United States: Bioclimatic classification based on man[J]. Annals of the Association of American Geographers, 1966, 5(1): 141-179.

[7] OLIVER J E. Climate and Man's Environment:An Introduction to

Applied Climatology[M]. New York: John Wiley and Sons Incorporated, 1973.

[8] 刘丽珺, 梁友嘉, 陈学君. 基于GIS的兰州及其周边河谷型地区气候舒适度评价[J]. 干旱气象, 2015, 33(3): 427−433. [LIU Lijun, LIANG Youjia, CHEN Xuejun, et al. Climate comfort degree evaluation of Valley-Region in Lanzhou and its surroundings based on GIS[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(3): 427−433.]

[9] 张波, 谭文, 古书鸿, 等. 1961−2015年贵州省夏季旅游气候舒适度评价[J]. 干旱气象, 2017, 35(3): 420−426. [ZHANG Bo, TAN Wen, GU Shuhong, et al. Evaluation of tourism climate comfort in summer in Guizhou province during 1961−2015[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(3): 420−426.]

[10] 马玉芳, 刘运华, 李乐, 等. 青海黄河谷地旅游气候舒适度评价[J]. 中国农学通报, 2017, 33(3): 105−109. [MA Yufang, LIU Yunhua, LI Le, et al. Tourism climate comfort evaluation of the Yellow river Valley in Qinghai[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(3): 105−109.]

[11] 王学林, 靳青春, 祝颂, 等. 气候变化背景下江南地区人体舒适度时空分布特征[J]. 中国农学通报, 2017, 33(16): 129−136. [WANG Xuelin, JIN Qingchun, ZHU Song, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of human comfort degree: in Yangtze River Region under climate change[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(16): 129−136.]

[12] 房小怡. 近30年北京气候舒适度城郊变化对比分析[J]. 气象科技, 2015, 43(5): 918−924. [FANG Xiaoyi. Comparative analysis of urban and rural climate comfortabilities in Beijing in past 30 years [J]. Meteorological Science and Technology, 2015, 43(5): 918−924.]

[13] 闫业超, 岳书平, 刘学华, 等. 国内外气候舒适度评价研究进展[J]. 地球科学进展, 2013, 28(10): 1119−1125. [YAN Yechao , YUE Shuping , LIU Xuehua, et al. Advances in assessment of bioclimatic comfort conditions at home and abroad[J]. Advances in Earth Science, 2013, 28(10): 1119−1125.]

[14] 孔钦钦, 葛全胜, 席建超, 等. 中国重点旅游城市气候舒适度及其变化趋势[J]. 地理研究, 2016, 34(12): 2238−2246. [KONG Qinqin , GE Quansheng , XI Jianchao, et al. Thermal comfort and its trend in key tourism cities of China[J]. Geographical Reserch, 2016, 34(12): 2238−2246.]

[15] 杜希溪, 李锐, 王飞. 渭河流域近50年来气候舒适度对气候变化的响应[J]. 水土保持通报, 2013, 33(2): 53−57. [DU Xixi, LI Rui , WANG Fei. Response of climate comfortable index to climate change in Weihe River Basin during past 50 years[J]. Bulletin of Soil and Water Converstion, 2013, 33(2): 53−57.]

[16] 徐仁鹏, 廖麒翔, 姜希瑞, 等. 川西高原马尔康旅游气候舒适度分析与评价[J]. 成都信息工程学院学报, 2014, 29(1): 97−103. [XU Renpeng, LIAO Qixiang, JIANG Xirui, et al. Evalution of tourism climate comfort degree in Barkam[J]. Journal of Chengdu University of Information Technology, 2014, 29(1): 97−103.]

[17] 张可心, 张谋草, 杜军. 1981−2016年庆阳市地表湿润状况时空变化特征分析[J]. 中国农学通报, 2019, 35(13): 101−106. [ZHANG Kexin, ZHANG Moucao, DU Jun. Analysis of spatial and temporal ariation characteristics of surface umid onditions in Qingyang from 1981 to 2016[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(13): 101−106.]

[18] Ma Belén Gómez Martín. Weather, climate and tourism megeographical perspective[J]. Annals of Tourism Research, 2005, 32 (3): 571−591.

[19] 范亚正, 郭来喜. 中国海滨旅游地气候适应性评价[J]. 自然资源学报, 1998, 13(4): 304−311. [FAN Yazheng, GUO Laixi. Evaluation on Climate Adaptability of China's Coastal Tourist Destinations[J]. Journal of Natural Resources. 1998, 13(4): 304−311.]

[20] 冯粉粉, 温家洪, 王慧敏. 基于GIS的华东地区旅游气候舒适度分析[J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 2012, 41(2): 196−202. [FENG Fenfen, WEN Jiahong, WANG Huimin. Analysis on tourism climate comfort level in East China[J]. Journal of Shanghai Normal University, 2012, 41(2): 196−202.]

[21] DE FREITAS C. Human climates of Northern China[J]. Atmospheric Environment, 1979, 13(1): 71−77.

[22] 马丽君, 孙根年, 王洁洁. 中国东部沿海沿边城市旅游气候舒适度评价[J]. 地理科学进展, 2009, 28(5): 713−722. [MA Lijun, SUN Gennian, WANG Jiejie. Evaluation of tourism climatic comfortableness of coastal cities in the Eastern China[J]. Progress in Geography, 2009, 28(5): 713−722.]

[23] 王晓冬, 延军平. 近30年陕甘宁老区气候变暖空间分布比较研究[J]. 干旱区资源与环境, 2002, (3): 47−50. [WANG Xiaodong, YAN Junping. Space distribution of climate warming in Shaan-Gan-Ning Region[J]. Journal of Arid Land Resource and Environment, 2002, (3): 47−50.]

[24] 朱涯, 杨鹏武, 段长春, 等. 普洱市宜居气候适宜性分析[J]. 气象与环境科学, 2018, 41(2): 37−42. [ZHU Ya, YANG Pengwu, DUAN Changchun, et al. Analysis on livable climate Suitability of Puer City[J]. Meteorological and Environment Science, 2018, 41 (2): 37−42.]

Analysis and evaluation of climate comfort characteristics in Qingyang from 1981 to 2018

Zhang Ke-xin[1,2]

(1 *Qingyang Meteorological Bureau, Xifeng Gansu* 745000; 2 *Institute of Arid Meteorology, CMA/Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province/Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster, CMA, Lanzhou* 730020)

Abstract: This studyanalyzes and evaluates the characteristics of climatic resources in Qingyang to improve guidance for the development of local urban and rural planning and tourism. Based on daily air temperature, precipitation, relative humidity, wind speed, and sunshine time from eight meteorological stations in Qingyang from 1981 to 2018, four parameters of climate comfortwere calculated and spatiotemporal variation characteristics of climate comfort in Qingyang were analyzed. The analysis results showed that the spring and autumn were cold, the summer was warm and comfortable, and the winter was cold and uncomfortable in Qingyang. The interannual variation characteristics of the temperature−humidity index(THI), wind chill index(K), and the dressing index(ICL) showed that the climate in all seasons showed a warm trend, with substantialchangesin spring and summer and weaker changes in autumn and winter. The interannual fluctuation of the composite index was large, with summer climate tending to be less comfortable and the rest of the yearbeing more comfortable. The monthly distribution of the climate comfort period showed that climate in Qingyang was comfortable from May to September, making itsuitable for tourism activities. The overall spatial distribution of comfort had high values in the west but low in the east in May and September, whereas it was high in the southeast and low in the west and north from June to August. The overall characteristics of monthly comfort changes, from most to least comfortable were in the order: May, June, September, August, and July.

Key words: climate comfort; GIS; spatial analysis; evaluation; Qingyang City